



Funktionsintegration im Leichtbau

Aktuelle Forschungsprojekte im DLR

Prof. Dr.-Ing. Martin Wiedemann
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

DGLR-Vortrag, Berlin, 31. Januar 2011

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Direktor: Prof. Dr.-Ing. M. Wiedemann
Stellv. Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. M. Sinapius

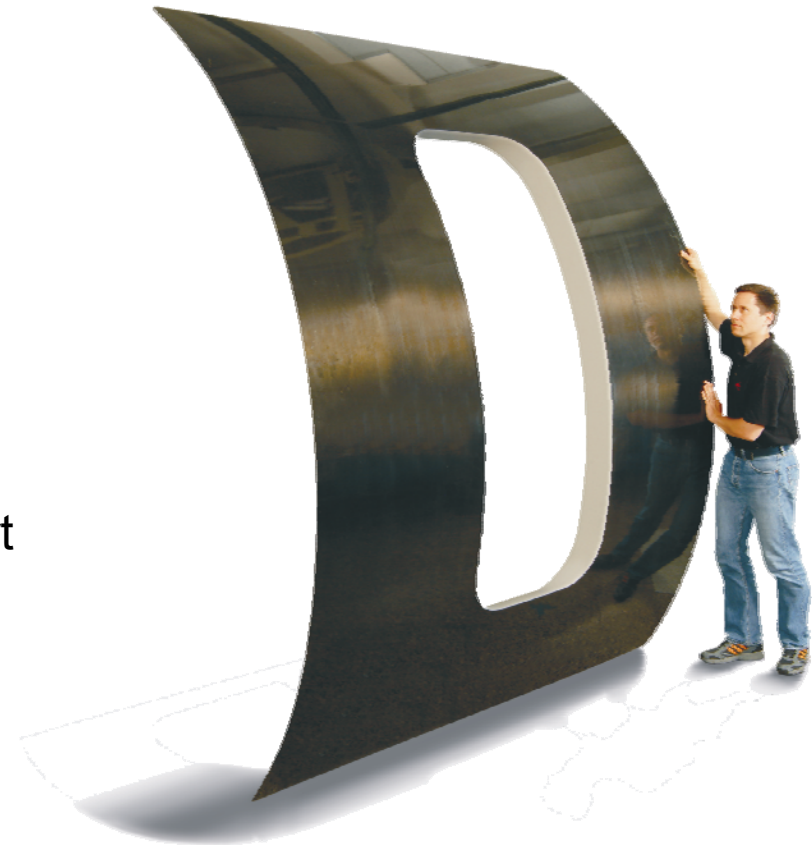
Hochleistungsleichtbau anpassungsfähig – effizient – tolerant

Wir sind die Experten für Entwurf
und Realisierung innovativer
Leichtbausysteme.

Unsere Forschung dient der
Verbesserung von

- | | | |
|-------------------------|----|-------------|
| ■ Sicherheit | in | ■ Energie |
| ■ Kosteneffizienz | | ■ Verkehr |
| ■ Funktionalität | | ■ Luftfahrt |
| ■ Umweltverträglichkeit | | ■ Raumfahrt |

Wir schlagen die Brücke
zwischen Grundlagenforschung
und industrieller Anwendung



Multifunktionswerkstoffe

Dr. P. Wierach

Mehr Funktion in den Werkstoff



Strukturmechanik

Dr. A. Kling

Mit uns können Sie rechnen!



Funktionsleichtbau

Dr. C. Hühne

Unser Design für Ihre Struktur!



Faserverbundtechnologie

Dr. M. Kleineberg

Maßgeschneiderte
Fertigungskonzepte



Adaptronik

Dr. H.P. Monner

Die Adaptronik-Pioniere



Verbundprozesstechnologie

Dr. M. Meyer

Forschen im Industrie-Maßstab



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Multifunktionswerkstoffe

Dr. P. Wierach

Mehr Funktion in den Werkstoff

- Faserverbundwerkstoffe
- Nanocomposites
- Smart Materials
- Integrierte Bauteilüberwachung
- Werkstoffcharakterisierung



Strukturmechanik

Dr. A. Kling

Mit uns können Sie rechnen!

- Methoden des Gesamtentwurfs
- Stabilität
- Schadenstoleranz
- Strukturdynamik
- Thermalanalyse
- Multiskalenanalyse
- Prozesssimulation



Funktionsleichtbau

Dr. C. Hühne

Unser Design für Ihre Struktur!

- Entwurf, Konstruktion, Berechnung
- Bauweisen und Bewertung
- Multifunktionale Strukturen
- Formvariable Strukturen
- Hybride Strukturen



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Faserverbundtechnologie

Dr. M. Kleineberg

Maßgeschneiderte Fertigungskonzepte

- Neue Fertigungs-Verfahren
- Hybride Fertigung
- Reparatur / Fügen
- Prozessautomatisierung



Adaptronik

Dr. H.P. Monner

Die Adaptronik-Pioniere

- Simulation des adaptiven Gesamtsystems
- Aktive Vibrationsunterdrückung
- Aktive Lärmreduktion
- Aktive Gestaltkontrolle



Verbundprozessstechnologie

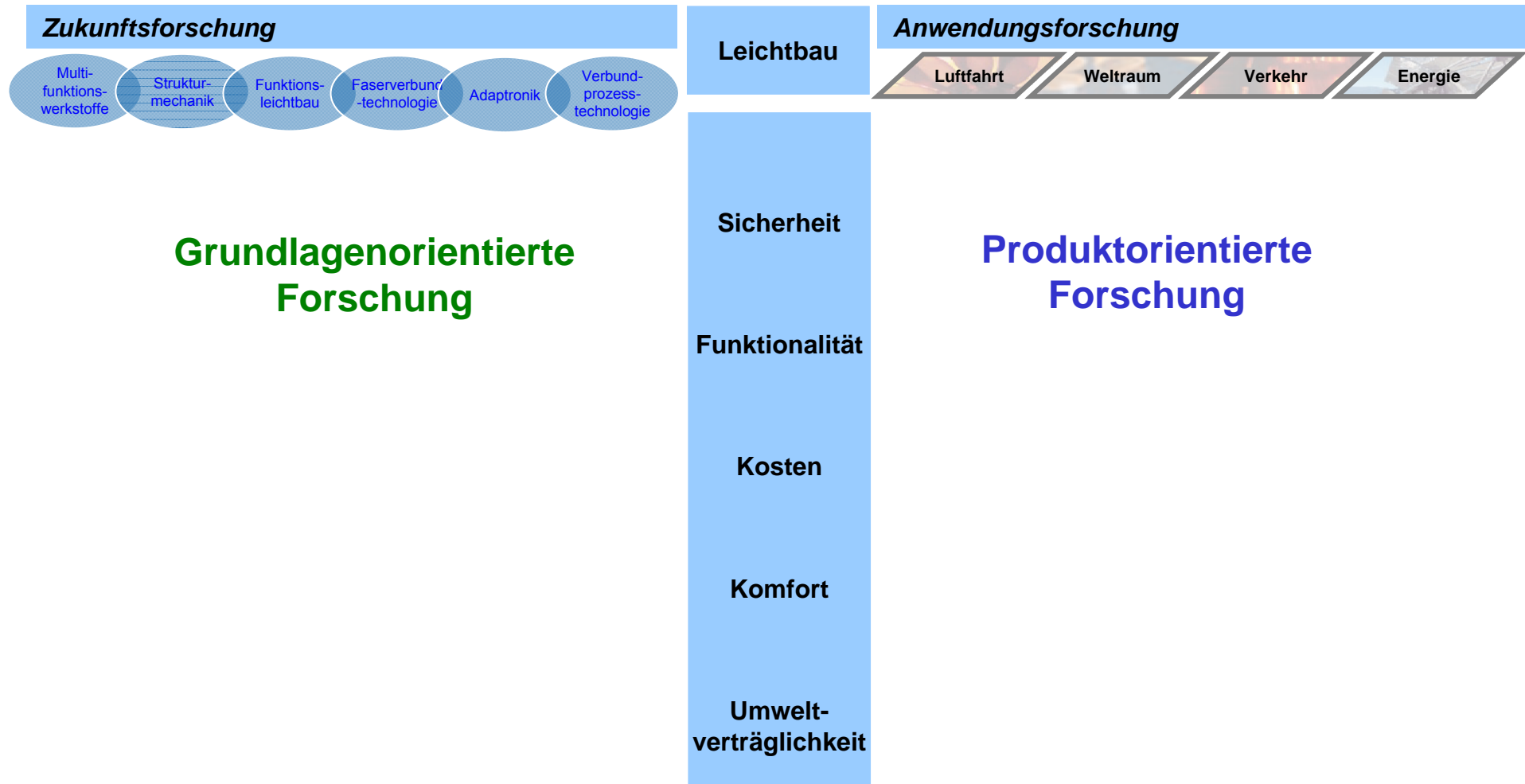
Dr. M. Meyer

Forschen im Industriemaßstab

- Automatisiertes FP und TL
- Online QS im Autoklaven
- automatisierte Bauteilherstellung in großen Stückzahlen
- Simulationenmethoden für maximale Zuverlässigkeit und Bewertung der Prozesse



Forschungsgebiete



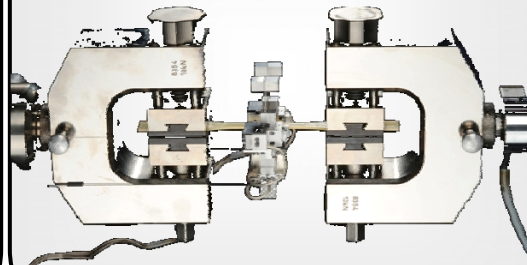


Zukunftsforschung, unsere Visionen

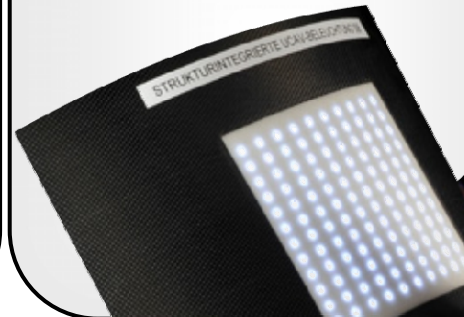
Von Nano über Mikro
zu Makro



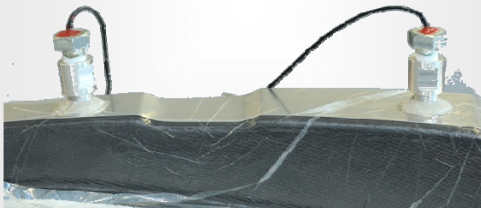
Robuste Gesamtstruktur



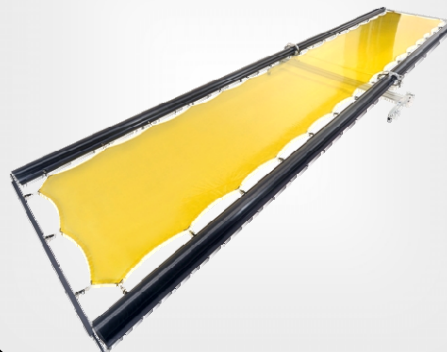
Strukturkonforme
Funktionsverdichtung



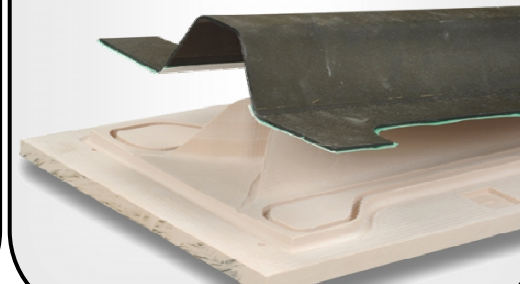
Lernende
CFK-Prozessierung



Autark agierende
Faserverbundstrukturen



Nachhaltige
Produktionsprozesse



Leichtbau

Sicherheit

Funktionalität

Kosten

Komfort

Umwelt-
verträglichkeit



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Zukunftsforschung, unsere Visionen

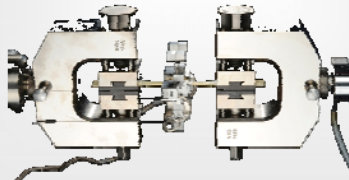
Von Nano über Mikro zu Makro

- CNT-Aktuatorik
- Wirkung mikroskaliger Defekte aus der CFK-Prozessierung
- Funktionsintegration durch Nanopartikel
- Very High Life Cycle Fatigue



Robuste Gesamtstruktur

- Interdisziplinäre Entwurfsmethoden
- Robuste, selbstüberwachende CFK-Reparatur
- Strukturanalyse zukünftiger Bauweisen



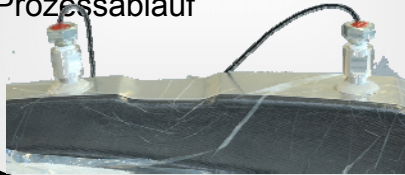
Strukturkonforme Funktionsverdichtung

- Funktionsverdichtende Werkstoffe und Bauweisen
- Funktionalisierte Interieurwerkstoffe und Bauweisen
- Formvariable Strukturen, schaltbare Materialeigenschaften



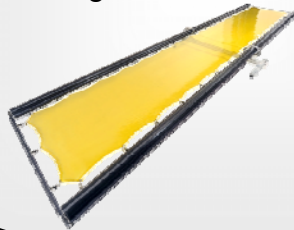
Lernende CFK-Prozessierung

- Virtuelle Prozess- und Prozesskettenoptimierung
- Simulationsgestützte Online-Qualitätssicherung
- Flexible Formwerkzeuge
- Selbstorganisierender Prozessablauf



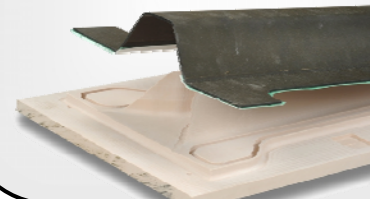
Autark agierende Faserverbundstrukturen

- Aktive Strömungskontrolle und Flexible Hochauftriebsstrukturen für Laminarflügel
- Autonome Bauteilüberwachung
- De-Icing bzw. Anti-Icing



Nachhaltige Produktionsprozesse

- Fiber Placement mit kooperierenden Ablagesystemen
- Qualitätsgesicherte Autoklav-Steuerung
- Automatisierte RTM-Prozesse



Leichtbau

Sicherheit

Funktionalität

Kosten

Komfort

Umweltverträglichkeit




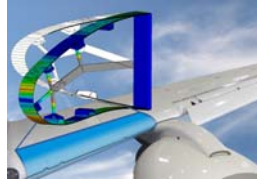

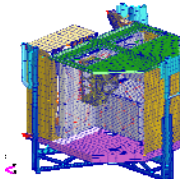
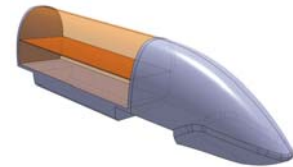
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

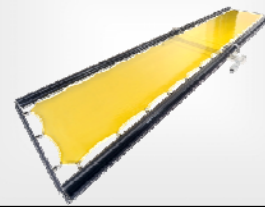


Leichtbau		Anwendungsforschung, unsere Schwerpunkte	
<div>Sicherheit</div> <div>Funktionalität</div> <div>Kosten</div> <div>Komfort</div> <div>Umwelt-verträglichkeit</div>	<div>Schwerpunkt Rumpftechnologien</div> <div>T. Ströhlein</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Rumpfbauweisen • Große Rumpfausschnitte • Fertigungstechnologien 	
	<div>Schwerpunkt Hochauftrieb</div> <div>Dr. O. Heintze</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible Flügelvorderkante • Aktive Strömungskontrolle an Hochauftriebssystemen 	
	<div>Schwerpunkt Spezialstrukturen</div> <div>M. Hanke</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturintegrierte Antennen • Stealth-Strukturen • Radombauweisen 	
	<div>Schwerpunkt Weltraum</div> <div>N.N.</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Landerstrukturen • Entfaltbare Raumfahrtstrukturen • Oberstufe 	
	<div>Schwerpunkt Verkehr</div> <div>J. Nickel</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Next Generation Train • Neue Fahrzeugstrukturen 	

Strukturkonforme
Funktionsverdichtung

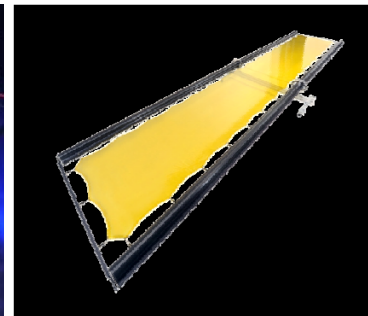
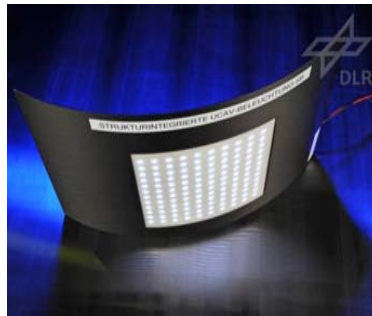
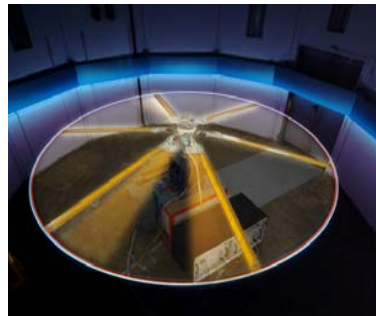
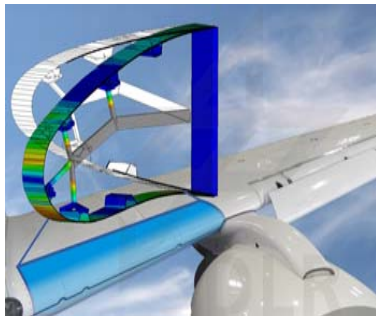


Autark agierende Faser-
verbundstrukturen



Funktionsintegration im Leichtbau Aktuelle Forschungsprojekte im DLR

- Formvariabler Faserverbund
- Strukturkonformität als Designaufgabe
- Strukturintegrierte Aktorik
- Strukturintegrierte Sensoren
- Strukturintegrierte Beleuchtung
- Entfaltbare Strukturen



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

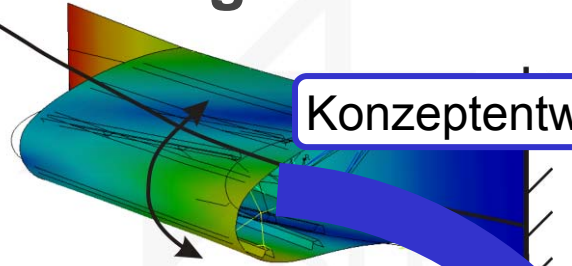
DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Formvariable Faserverbundstrukturen am Beispiel der Entstehung einer flexiblen Flügelvorderkante

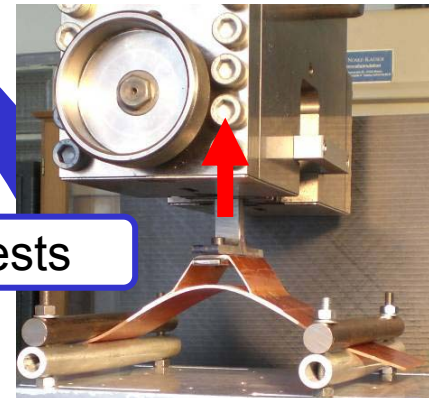
Smarte Struktur



Konzeptentwurf



Materialien & Tests

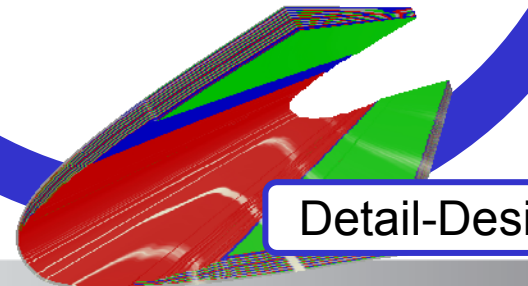


Strukturmechanik



Fertigung

Detail-Design

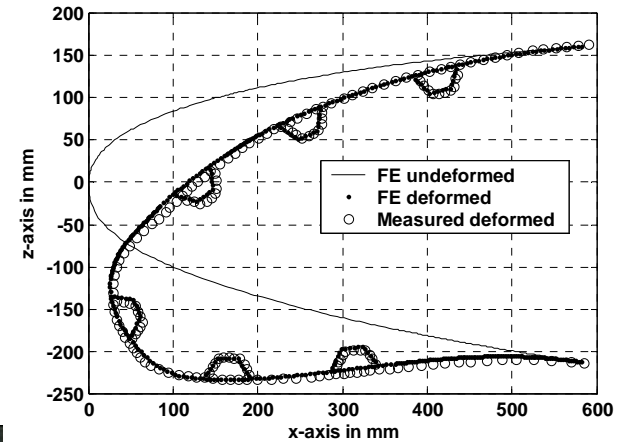
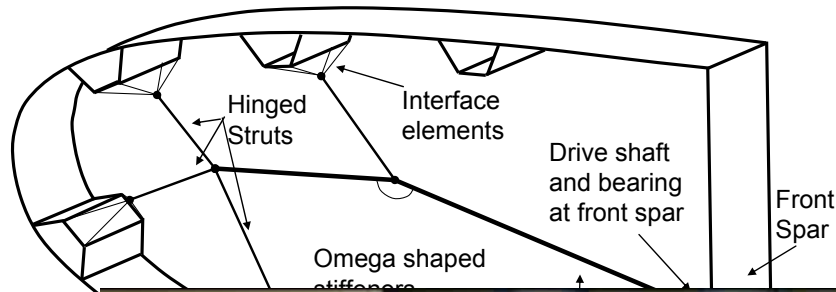


Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Verifikation



Fiber
skin



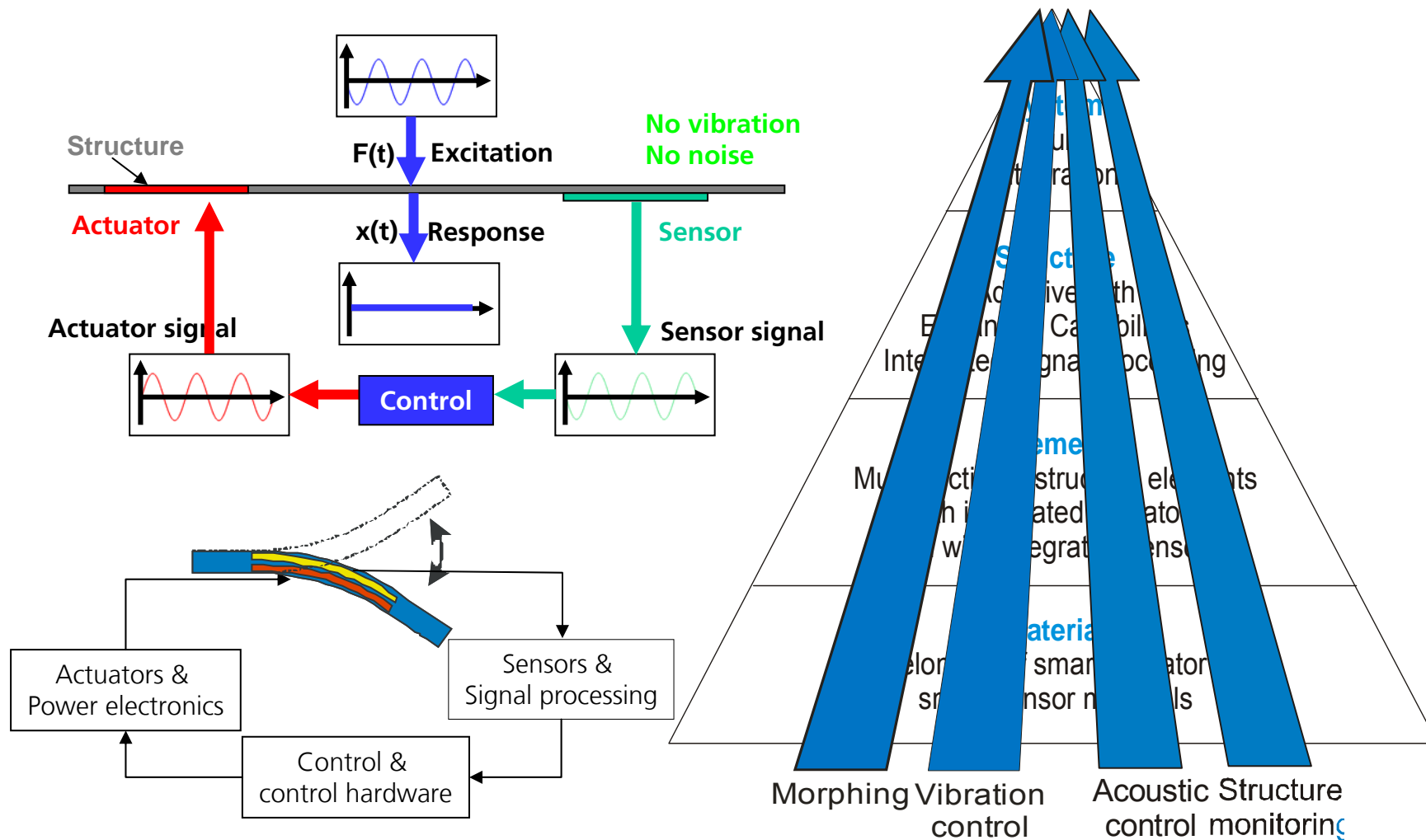
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Funktionsintegration in Komposite



Funktionsintegration in Komposite

Die Integration von zusätzlichen Funktionen in Komposite erfordert die Optimierung von meist gegensätzlichen Anforderungen, z.B.:

- Maximale Aktuierung, maximaler Hub
- Maximale Lasttragfähigkeit
- Maximale Festigkeit, maximale Steifigkeit

Der Auslegungsprozess muss diese Anforderungen erfüllen, erläutert an einem einfachen Modell für strukturintegrierte Aktuatorik:

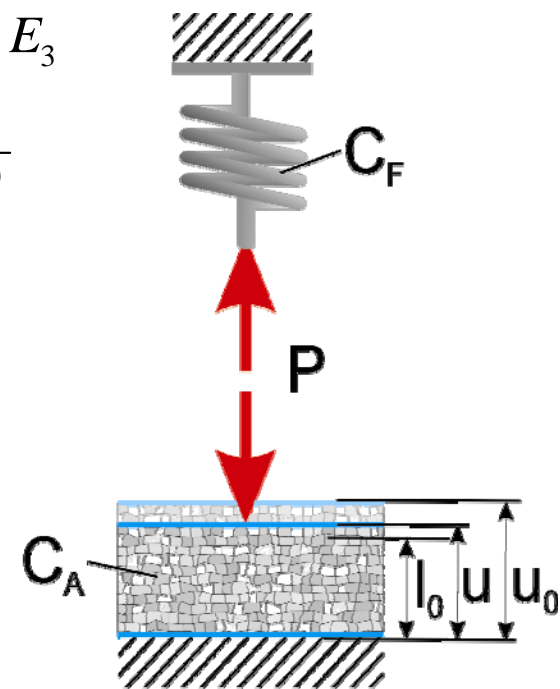
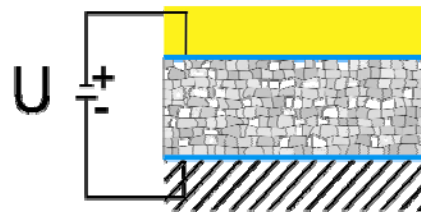
$$S = s_{33}^{(E)} T + d_{33} E_3$$

$$S = \frac{u_0}{l_0} = d_{33} E_3$$

$$u_0 = l_0 d_{33} E_3$$

$$c_A = \frac{A}{l_0 s_{33}^{(E)}}$$

$$E_3 = \frac{U}{l_0}$$



Lastabhängige Auslenkung

Das Steifigkeitsverhältnis zwischen Funktionswerkstoff und umgebendem, lasttragendem Konstruktionswerkstoff ist für die nutzbare Aktuierung entscheidend.

Lastabhängige Auslenkung des Aktors:

$$u = u_0 + \frac{P(u)}{c_A}$$

Eingeleitete Kraft $P(u)$ in Abhängigkeit der Struktursteifigkeit:

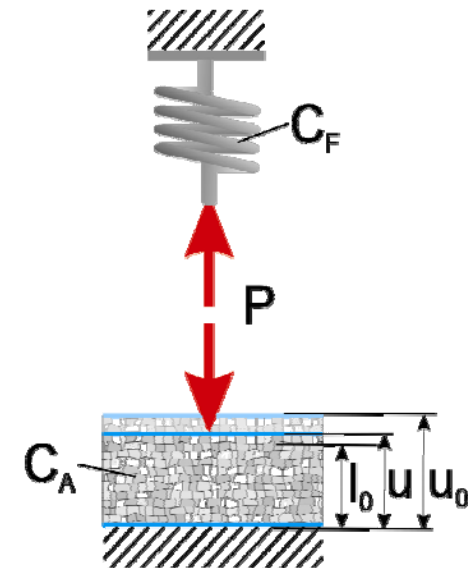
$$P(u) = -c_F u$$

Steifigkeitsverhältnis zwischen Funktionswerkstoff und Konstruktionswerkstoff

$$\lambda = \frac{c_F}{c_A}$$

D.h. für die Aktorauslenkung

$$u = \frac{1}{1 + \lambda} u_0$$



Maximale Arbeitsfähigkeit

Geleistete Arbeit:

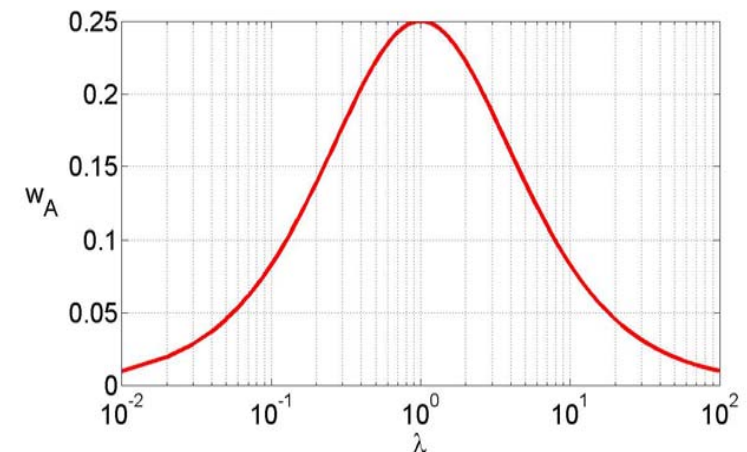
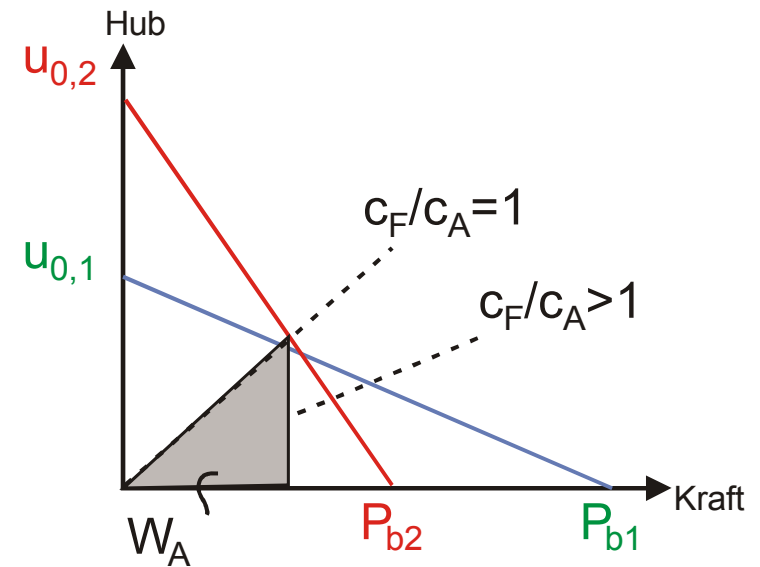
$$W_A = \frac{1}{2} c_F u^2$$

Ausgedrückt mit den Aktuatorparametern
Freihub u_0 und Steifigkeit c_A :

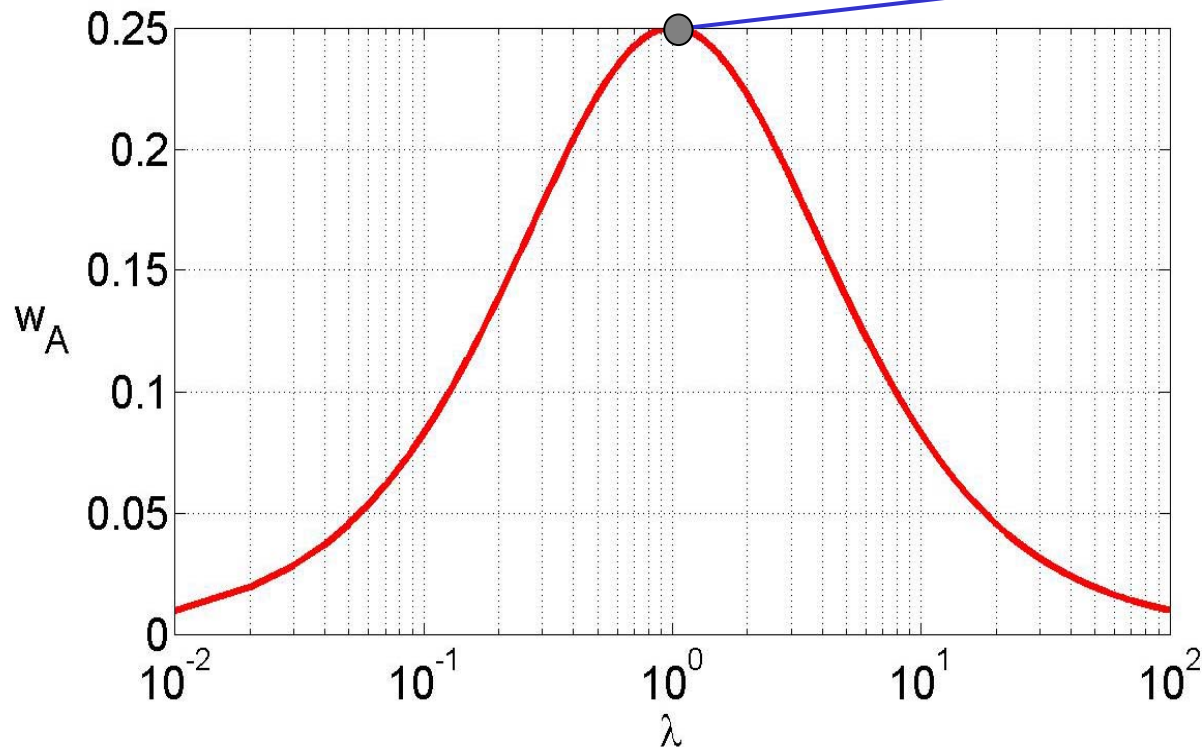
$$W_A = \frac{\lambda}{(1+\lambda)^2} \frac{1}{2} c_A u_0^2$$

$$\bar{w}_A = \frac{\lambda}{(1+\lambda)^2}$$

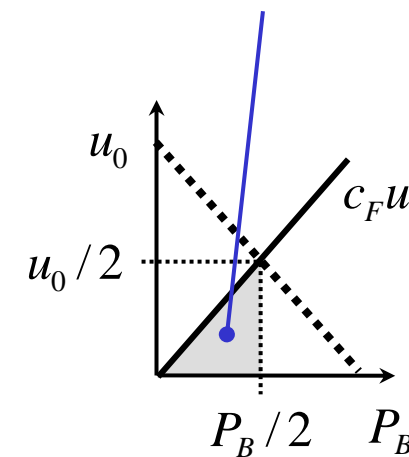
Der Koeffizient \bar{w}_A drückt den Einfluss des
Steifigkeitsverhältnisses zwischen Funktions-
werkstoff und Konstruktionswerkstoff aus.



Strukturkonformität



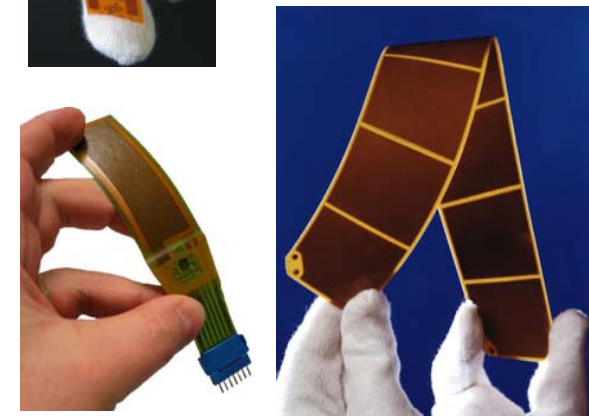
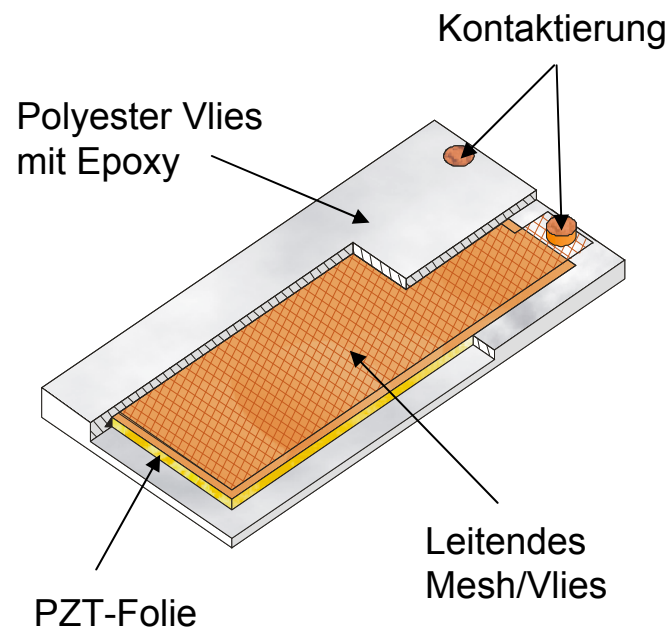
$$W_{A,\max} = \frac{1}{4} \frac{1}{2} c_A u_0^2$$



Für $\lambda=1$ ist maximale Strukturkonformität realisiert. Strukturkonformität ist ein Maß für optimale Funktionsintegration.

Piezokomposite

- Robuste Aktuatoren und Sensoren
- d_{33} -Komposite mit geringer Betriebsspannung
- Kommerzialisierung durch PI-Ceramic
- Integration von Mikrosystemen



Strukturintegrierte Aktuatorik: Aktiv verwindbares Rotorblatt

Herausforderung:

Höherharmonische Verwindung ($\pm 2^\circ$)
eines Hubschrauberrotorblattes zur
Reduktion von Lärm und
Vibrationen und zur
Leistungssteigerung

Lösung:

- Integration von gerichtet wirkenden Flächenaktuatoren in eine anisotrope Rotorblattthaut (Zug-Torsionskopplung)
- Entwicklung/Bau eines Modellrotorblattes zur Verifikation der Ergebnisse im Schleudertest und im Windkanal



Nutzung der anisotropen Verbundeigenschaften

Verformung (ε, κ) hängt vom Lagen-
aufbau des Verbundes, und damit von
den richtungsabhängigen Material-
eigenschaften der Einzelschichten ab.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon \\ \kappa \end{Bmatrix} = [\mathbf{N}] \left(\begin{Bmatrix} \mathbf{P}_a \\ \mathbf{M}_a \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \mathbf{P} \\ \mathbf{M} \end{Bmatrix} \right)$$

\downarrow \downarrow \rightarrow
 Strukturnachgiebigkeit Kräfte des aktivierten Materials äußere Lasten

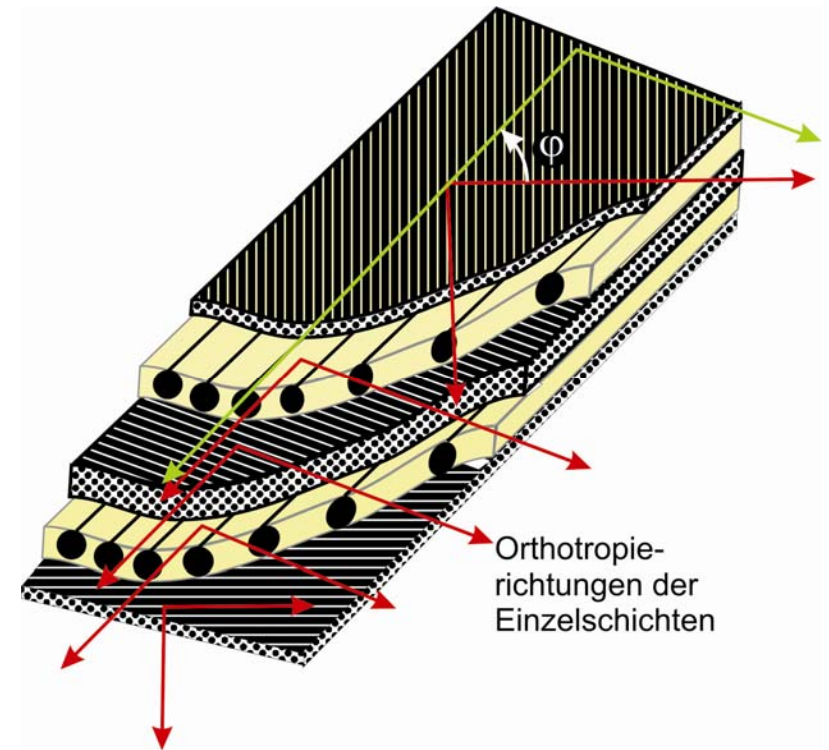
$$[\mathbf{N}] = f(\varphi_i, Y_i, \{I\}_i, T);$$

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{P}_a \\ \mathbf{M}_a \end{Bmatrix} = f(\varphi_i, Y_i, k_{jk,i}, E_i \{I\}_i);$$

φ – Orthotropierichtung Y – Werkstoffelastizität

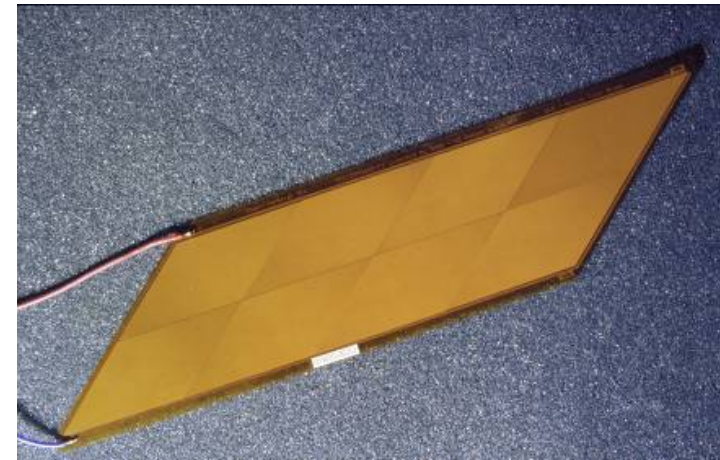
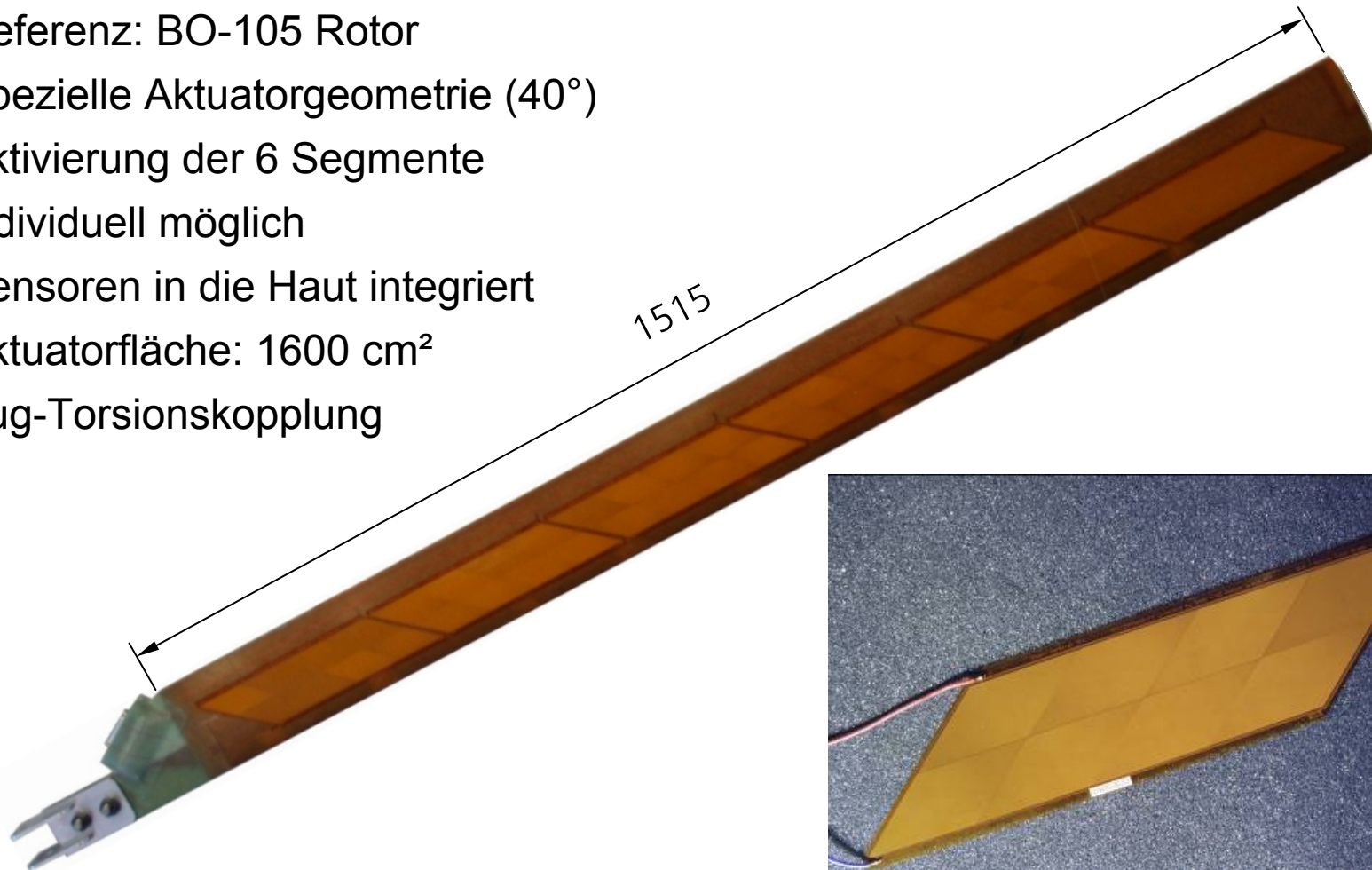
k – Kopplungskoeffizient E – Energieeintrag

T – Temperatur I – Trägheitsmomente



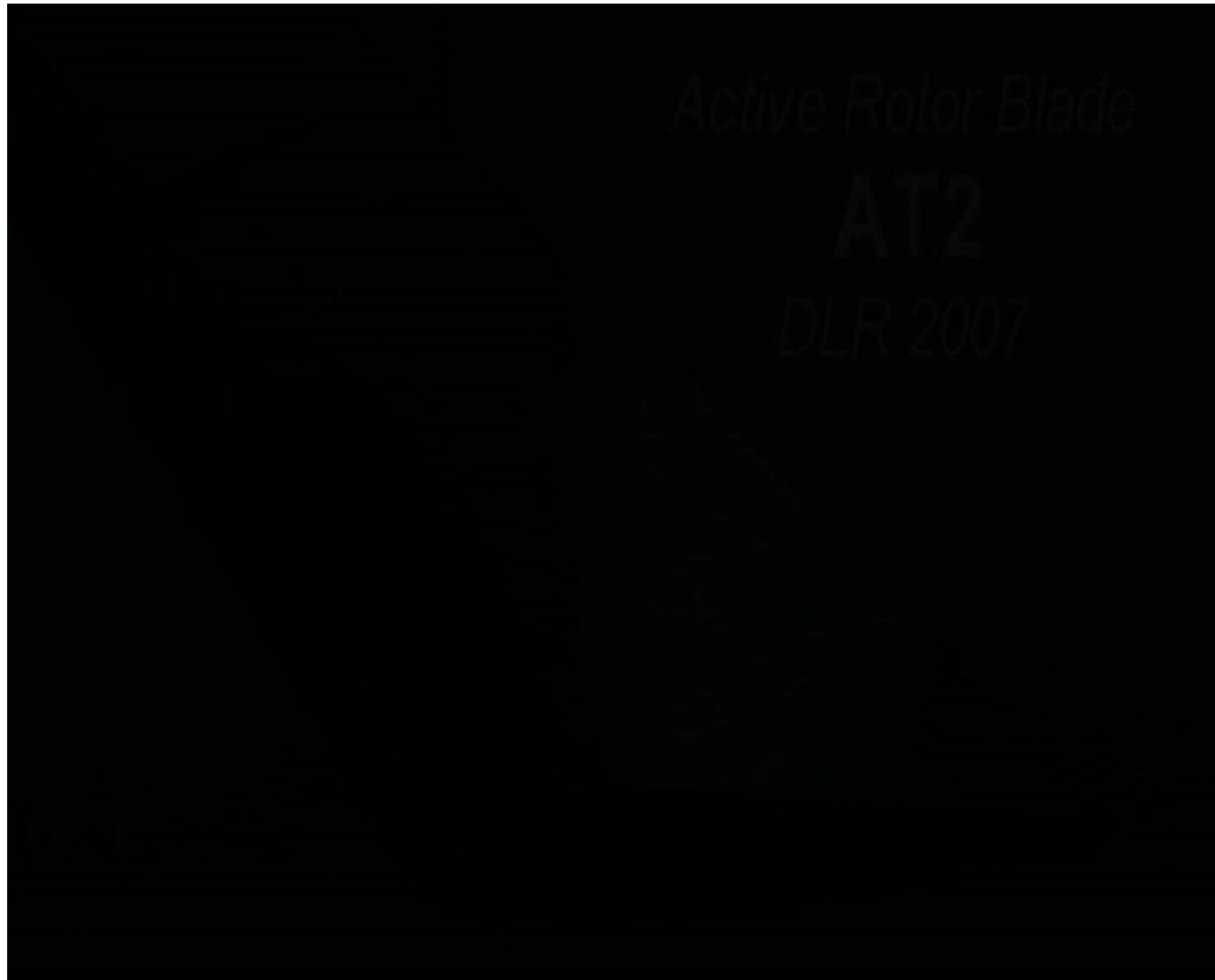
Design des aktiven Rotorblattes (AT2)

- Referenz: BO-105 Rotor
- Spezielle Aktuatorgeometrie (40°)
- Aktivierung der 6 Segmente individuell möglich
- Sensoren in die Haut integriert
- Aktuatorfläche: 1600 cm^2
- Zug-Torsionskopplung





Schleudertest des aktiv verwindbaren Rotorblattes



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

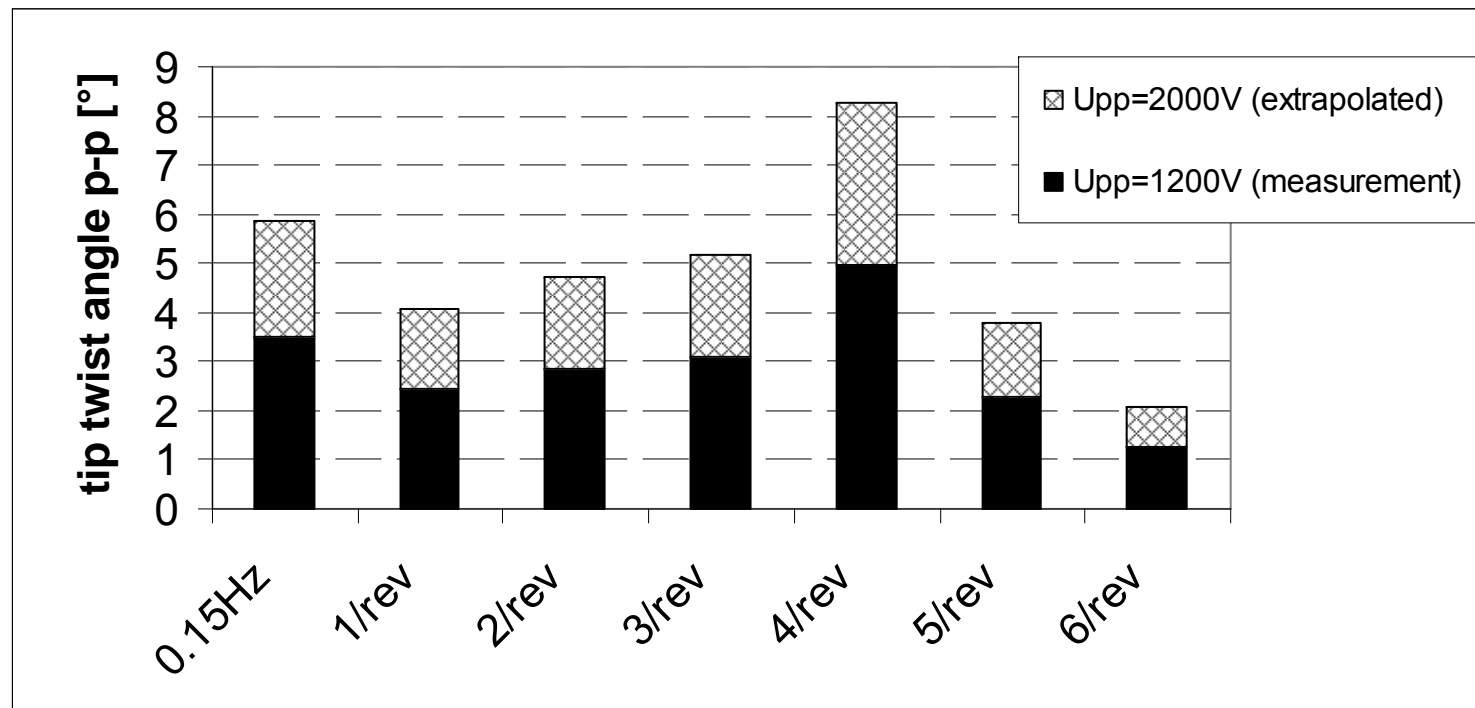


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik 22
DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

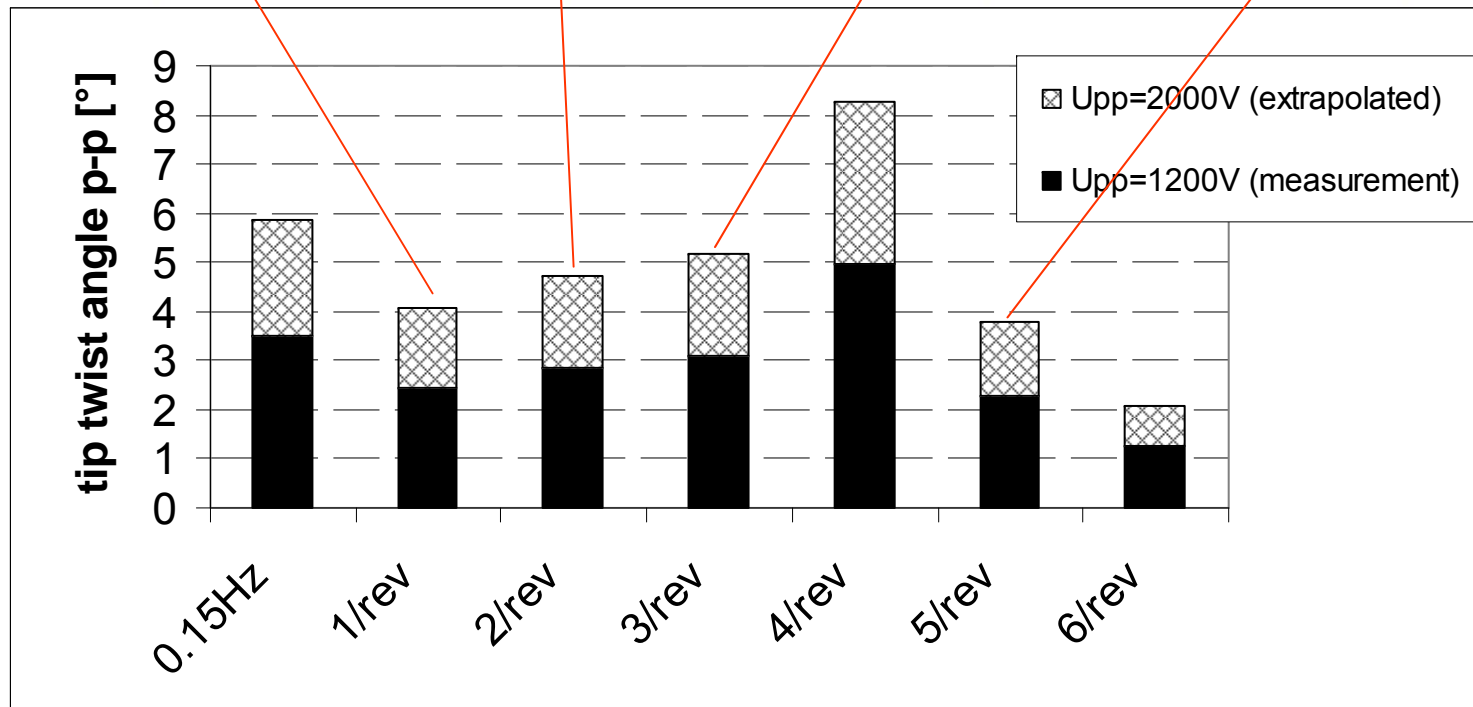
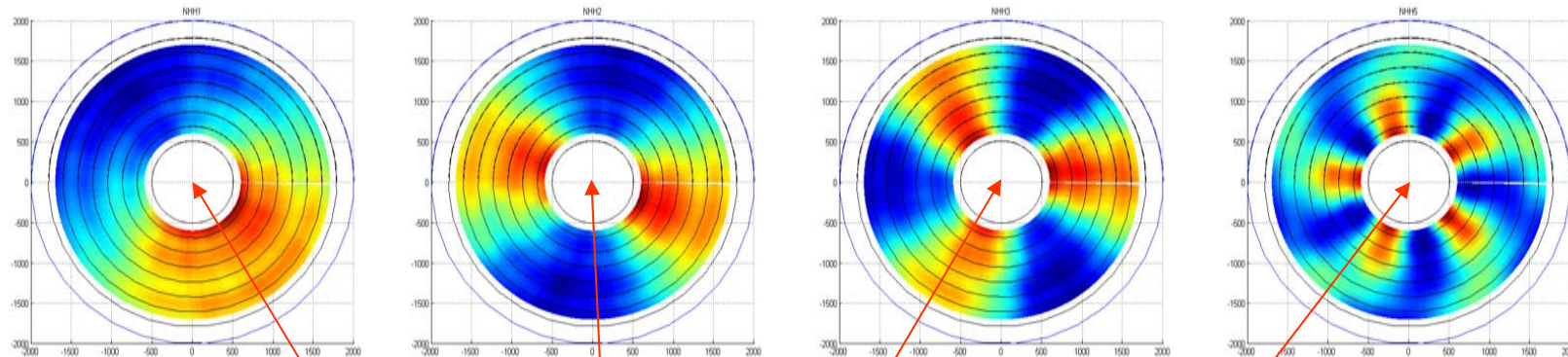
Experimentelle Ergebnisse

Ergebnisse der Schleuderversuche

- Höher harmonische Blattspitzenverwindung unter Zentrifugallasten (Reduzierte Aktuatorspannung, $n=1043$ rpm)



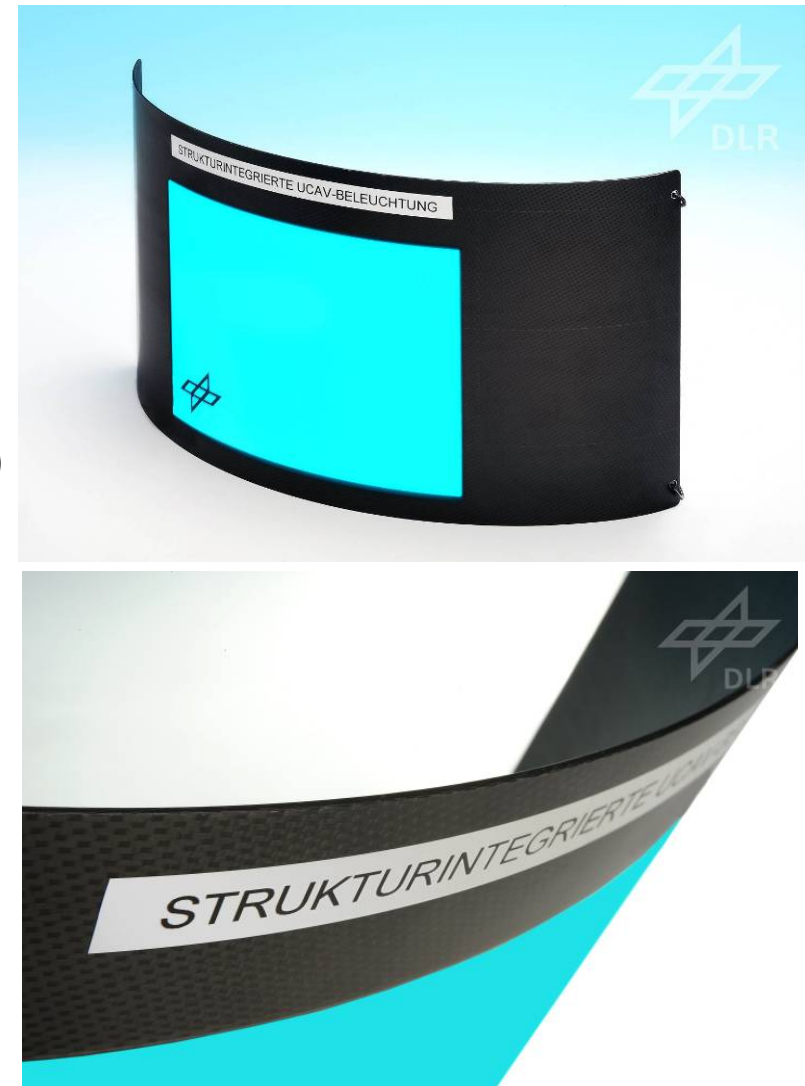
Verteilung des Torsionsmomentes



Strukturintegrierte Beleuchtung

Beleuchtung mit integrierter Elektrolumineszenzfolie

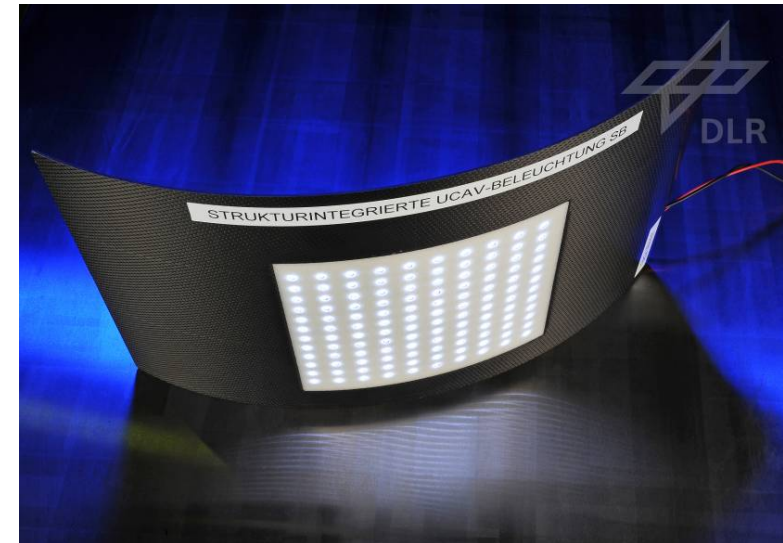
- Lasttragende Struktur
- Beleuchtung mit einer A4 großen EL-Folie
- Wandstärke ca. 2mm, weniger ist möglich
- EL-Folie vollständig eingebettet
 - z.B. Korrosion, Schwingungen, (Brand)
- Lichtleistung: Bei Tageslicht ist kein Leuchten erkennbar
- EL-Folie durch Glasfasergewebe auf der Front geschützt, diese Lage ist auf der Struktur nicht zu erkennen
- Anschlüsse auf der Rückseite für die Stromversorgung und die Ansteuerung



Strukturintegrierte Beleuchtung

Beleuchtung mit integrierten LED's

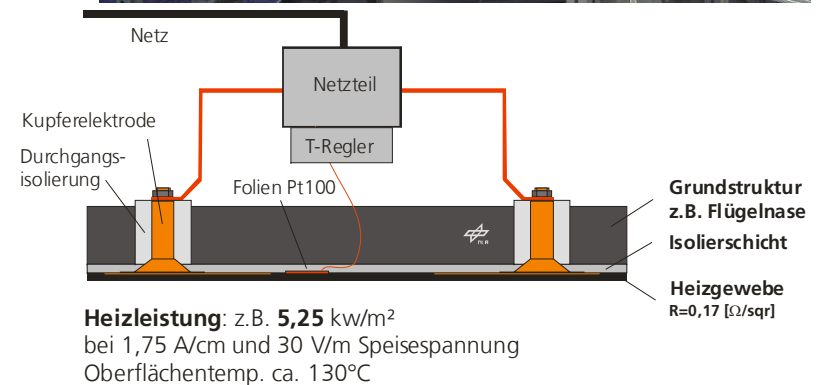
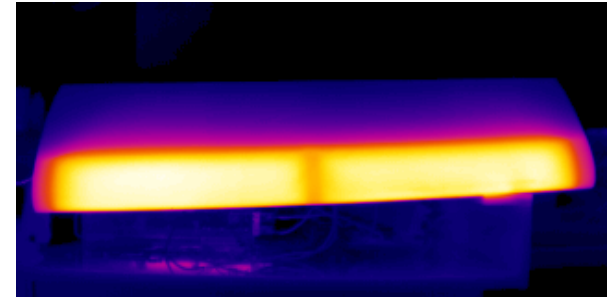
- Lasttragende Struktur
- Beleuchtung mit 120 weißen LEDs
- Wandstärke ca. 4mm, weniger ist möglich
- LED's sind vollständig geschützt,
 - z.B. Korrosion, Schwingungen, (Brand)
- Lichtleistung
 - ca. 380W/m² (Abhängig von der Anzahl)
- Rote und weiße LEDs wurden realisiert, Kombinationen möglich
- LEDs durch Glasfasergewebe auf der Front geschützt, diese Lage ist auf der Struktur nicht zu erkennen
- Anschlüsse auf der Rückseite für die Stromversorgung und die Ansteuerung



Strukturintegrierte Enteisierung

Elektrische Enteisierung einer Flügelvorderkante

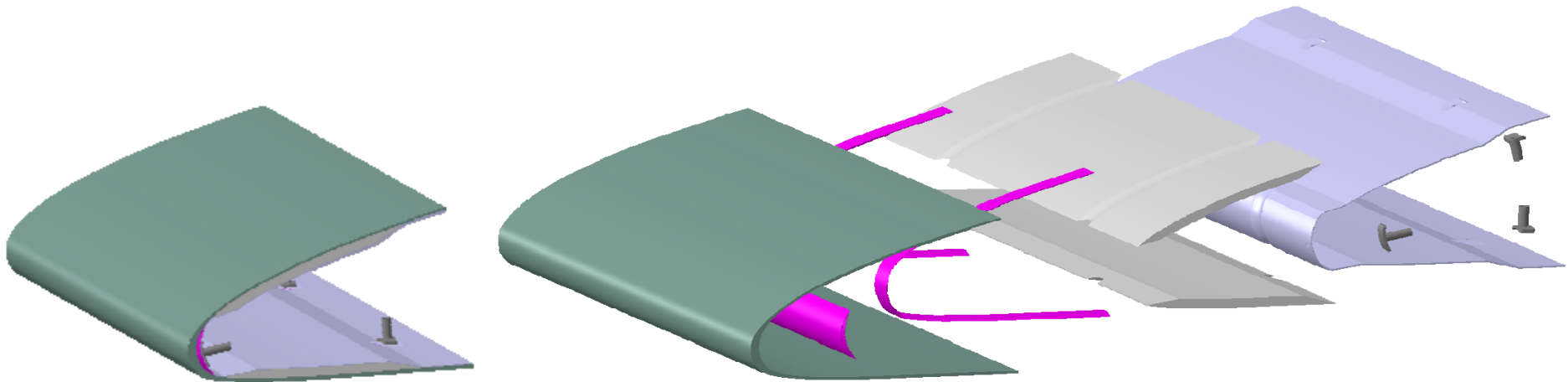
- Elektrische Widerstandsheizung über direkte Kontaktierung von CFK-Lagen
- Heizende CFK-Lagen sind strukturell tragend
- Temperaturen $> 200^{\circ}\text{C}$ möglich
- Energiebedarf sind ca. 3 kW
- De-Icing Versuche bei Raumtemperatur durchgeführt



Strukturintegrierte Enteisierung

Flüssigkeitsenteisierung eine Flügelvorderkante

- Entwicklung eines auf heißen Medien basierenden Temperiersystem
- De- und Antiicingsysteme integraler FVK-Flugzeugstrukturen
- Hohe Heizraten möglich
- Robustes Konzept



Strukturintegrierte Antennen

➤ Integration von Antennen in FVK-Strukturen

➤ Ziele

- Erschließung zusätzlicher Oberflächen für die Integration von Antennen
- Erfüllung von Radarsignaturanforderungen
- Lastragende Struktur, Reduzierung des Zusatzgewichtes gegenüber Antennensystemen

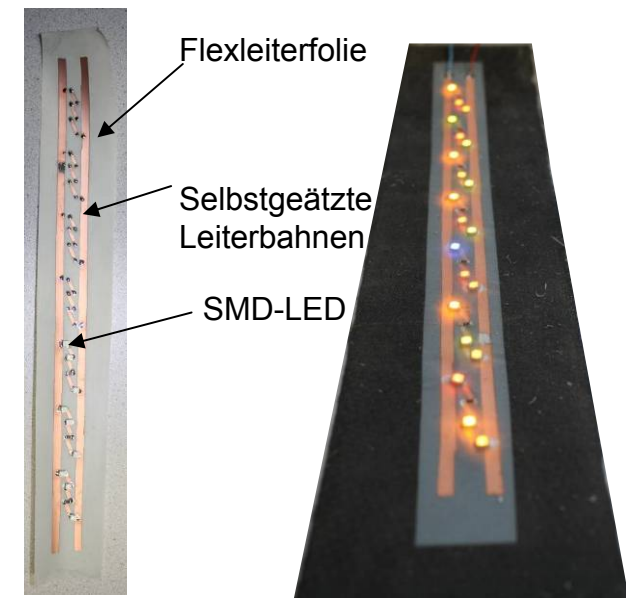
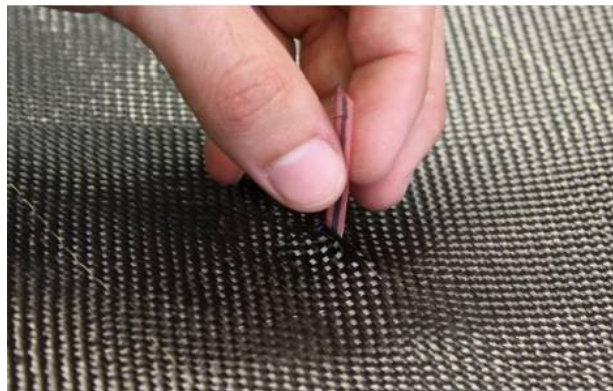
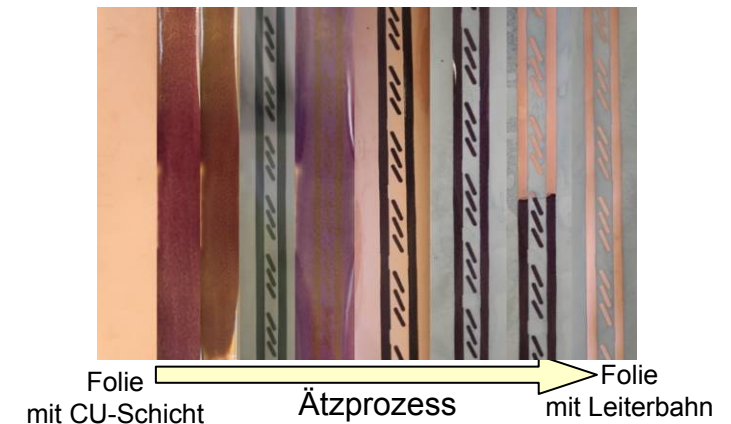
➤ Demonstratoren

- AESA Data-Link SIA
- SATCOM-SIA
- Flugtest mit Data-Link SIA



Strukturintegrierte Leiterbahnen

- **Integration von Flexleitern in die Struktur**
 - Leistungsversorgung für Beleuchtung, Sensoren, Enteisung etc.
 - Informationsübertragung über integrierte Flexleiter
 - Untersuchung geeigneter Flexleitermaterialien



Strukturintegrierte Bauteilüberwachung

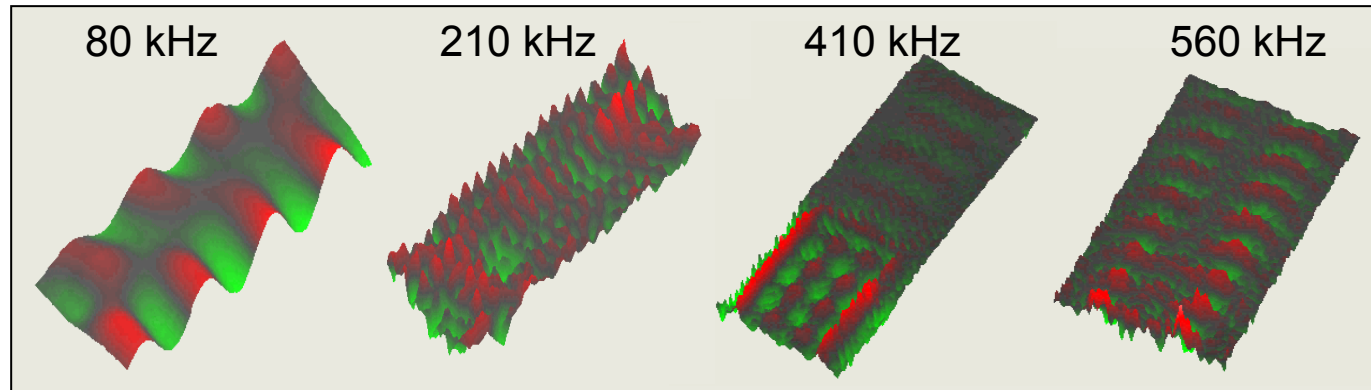
Zunehmende Verbreitung von Faserverbundwerkstoffen und die aus dem Betrieb zu erwartenden spezifischen Bauteilschäden sowie Forderungen nach

- bedarfsgerechten Wartungsintervallen
 - Kosteneffizienz durch zeitlich optimierten Betrieb
 - erhöhter Betriebssicherheit
- führen zu dem Wunsch nach
- ➡ integrierter Bauteilüberwachung



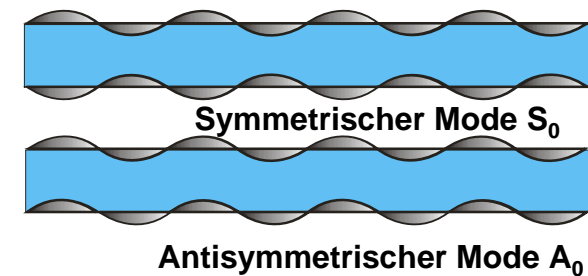
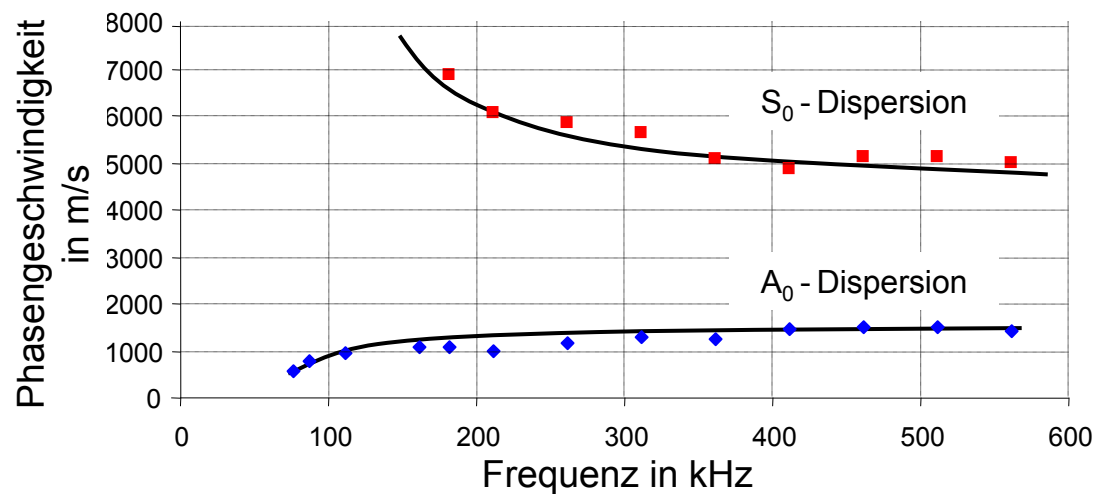
Generierung von Lambwellen mit Hilfe strukturintegrierter piezoelektrischer Aktuatoren Analyse der Wellenausbreitung

Lambwellenmoden in Faserverbunden



$$\ddot{\tilde{\epsilon}} - c_D^2 \Delta \tilde{\epsilon} = \tilde{\mathbf{p}}/\rho$$

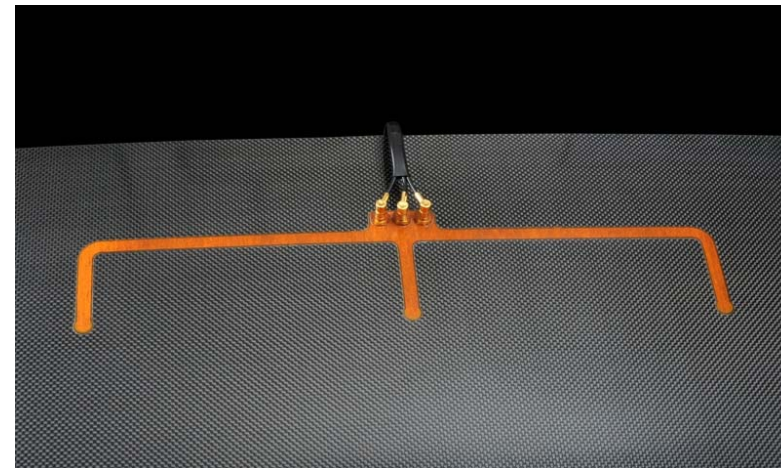
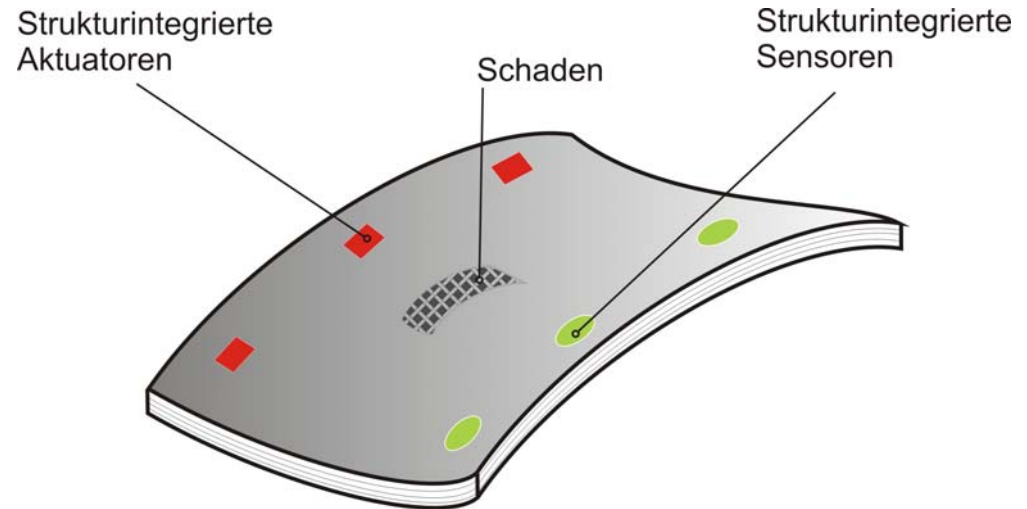
CFK-Platte,
Gewebe,
DP-RTM -
Fertigung



Quelle: Prof. G. Mook, OvgU Magdeburg

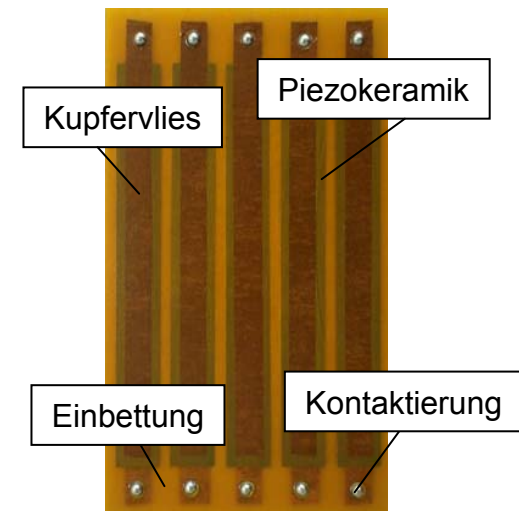
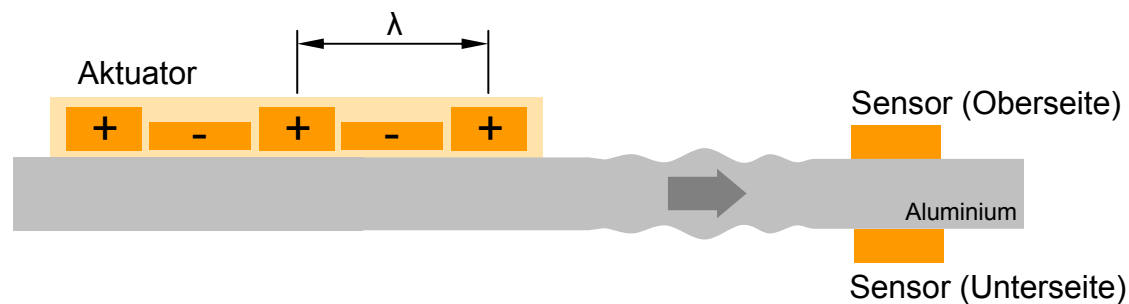
Strukturintegrierte Bauteilüberwachung

- Integrierte oder applizierte Aktuatorik zur Wellenanregung
- Integrierte Sensoren zur Detektion der Wellenbeugung oder –reflektion
- Rekonstruktion des Schadensortes und der Schadensgröße möglich?
- Aussage über Resttragfähigkeit



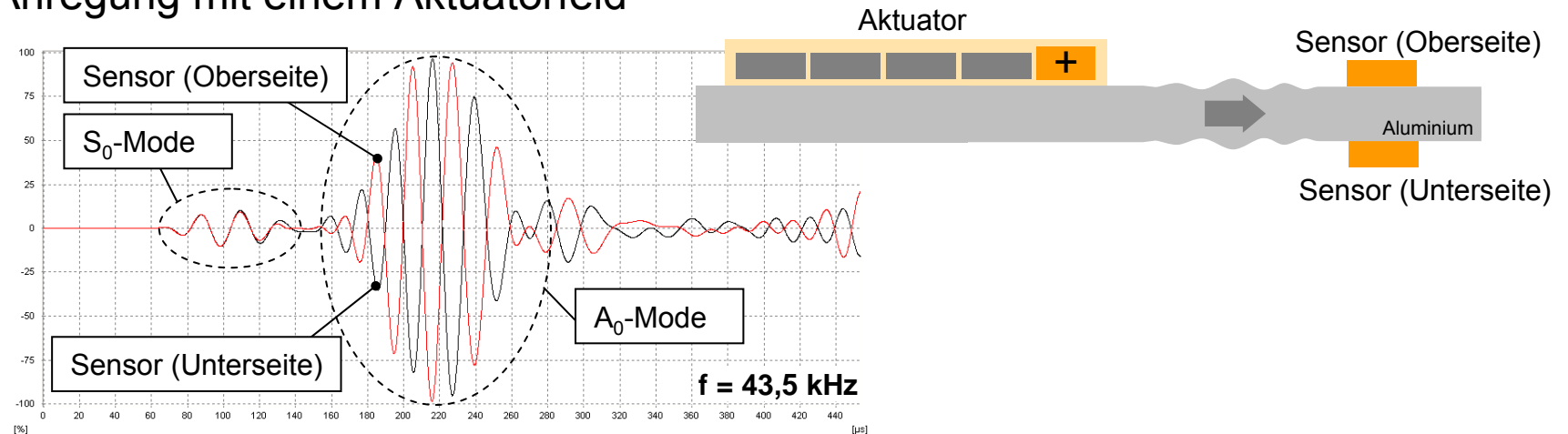
Monomodaler Lamb-Wellenaktuator

- Anordnung von fünf piezokeramischen Platten (70 x 8 x 0,2 mm) zu einem Array
- Abstand der Piezokeramiken entspricht der halben Wellenlänge
- Abstimmung des Aktuators auf den A_0 -Mode bei ca. 45 kHz
- Aufbau und Herstellung des Aktuator als Piezokomposit
- Einzelne Aktuatorfelder parallel geschaltet

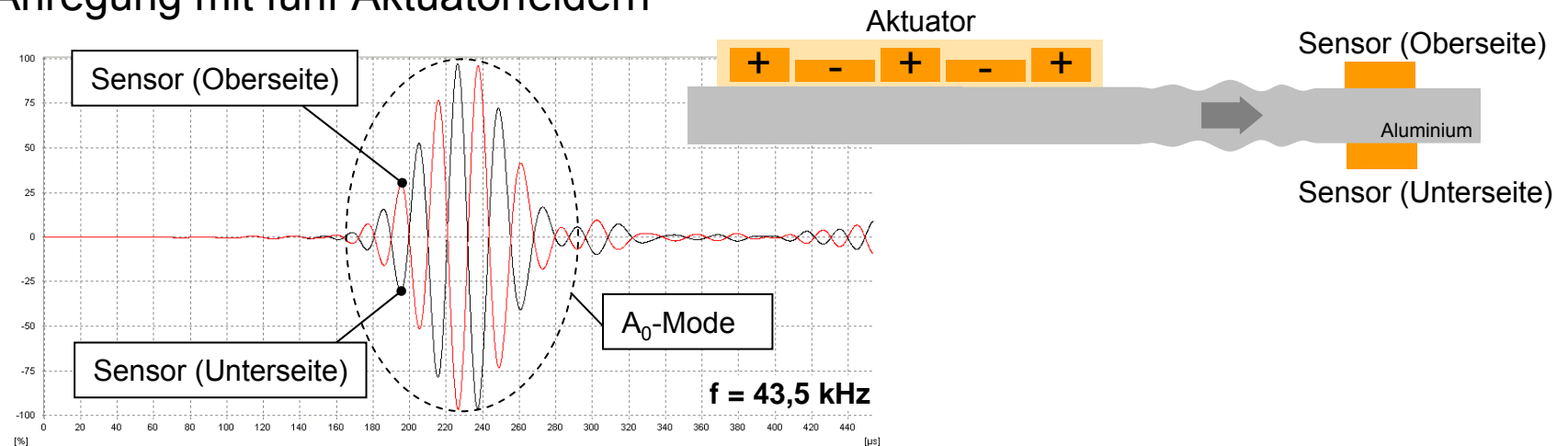


Monomodaler Lamb-Wellenaktuator

➤ Anregung mit einem Aktuatorfeld



➤ Anregung mit fünf Aktuatorfeldern



Strukturintegrierte Entfaltungsmechanismen

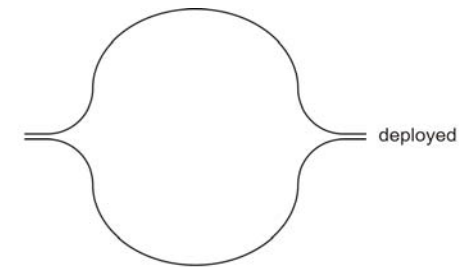
Entfaltbare Masten

➤ Signifikante Kennzeichen des DLR-Konzeptes

- Ausgehärtetes Carbon Composite Material
- Exzellente thermale Stabilität (CTE fast null)

➤ Kritische Aspekte

- Keine erfolgreichen On-orbit Versuche bis heute



stowed

Skizze des Mast Querschnitts

1g :



0g :



Simulierte Entfaltung



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

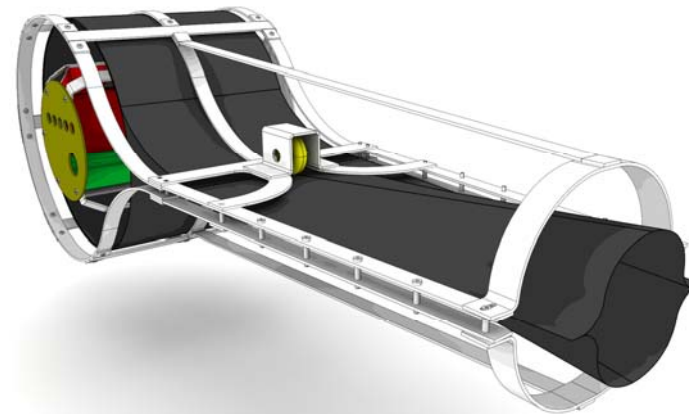
Grundmodul

Aufrollbarer CFK Mast - Kontrollkonzept

- Entfaltungsvorgang muss kontrolliert werden
- Aktuelle Kontrollkonzepte:
 - Klettstreifen zum Unterbinden der Selbstentfaltung → Druckschlauch zum kontrollierten ausblasen
 - Elektrisch getriebener Abrollmechanismus



Mast mit Entfaltungskontrollsystem aus Klett und Druckschlauch



Mast in elektrischer Abspulvorrichtung

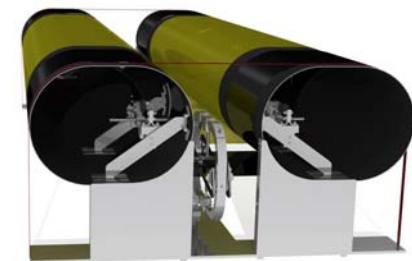
Anwendungen

am Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

- **Sonnensegel als alternatives, treibstoffloses Antriebskonzept (DLR Projekt)**
 - Beschleunigung und Abbremsen mittels Strahlungsdruck der Sonne
 - Tragstruktur besteht aus aufrollbaren Masten
- **Entfaltbare Membranantennen (ESA/DLR Projekt)**
 - Nutzung für weltraumgestützte Beobachtung von Planeten per RADAR
 - Strukturgewicht von unter 60 kg bei entfalten Dimensionen von 18 m x 4.3 m



20 m x 20 m Sonnensegel



1:3 Modell einer 18 m x 4,3 m großen Antenne (links: entfaltet, rechts: aufgerollt für den Start)



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

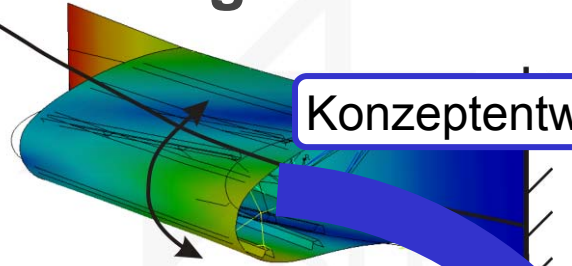
DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Formvariable Faserverbundstrukturen am Beispiel der Entstehung einer flexiblen Flügelvorderkante

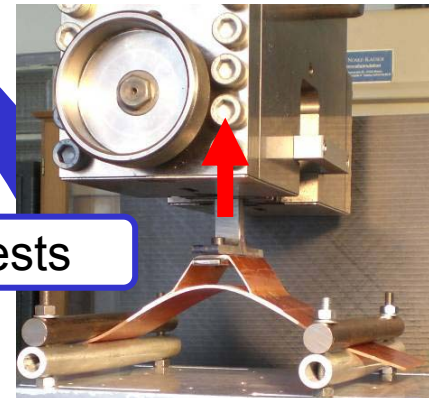
Smarte Struktur



Konzeptentwurf



Materialien & Tests

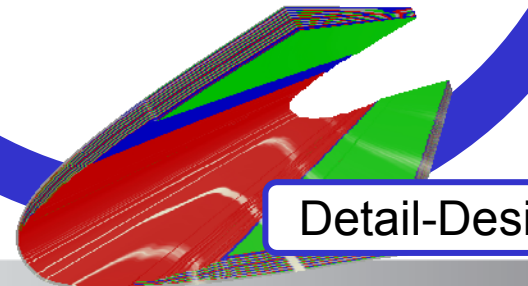


Strukturmechanik



Fertigung

Detail-Design

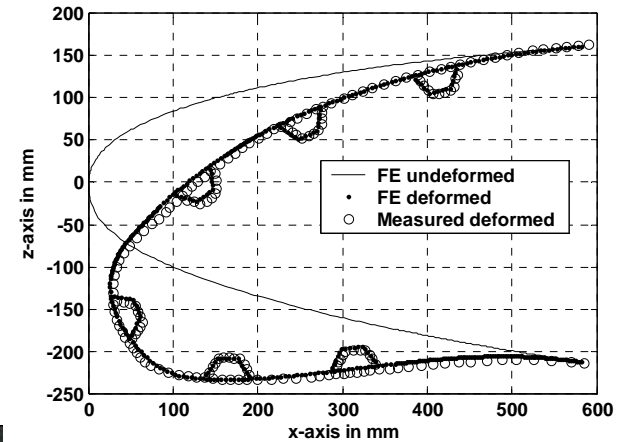
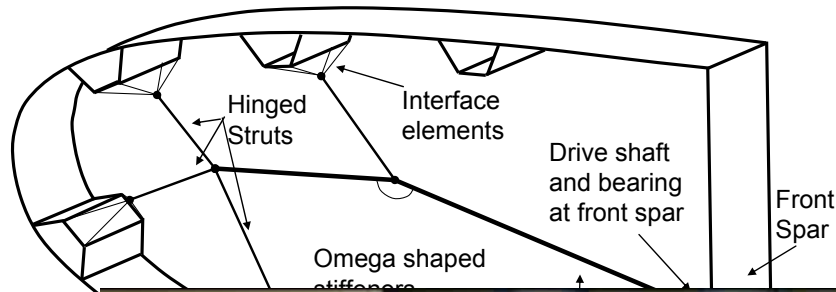


Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Verifikation



Fiber
skin



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

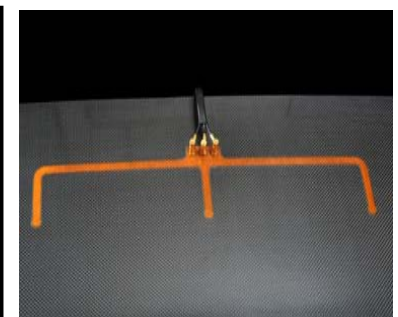
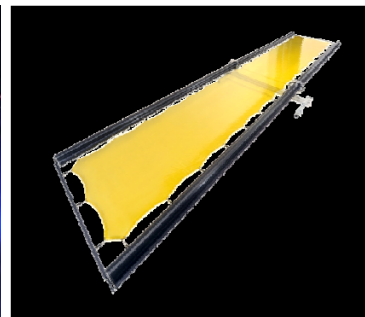
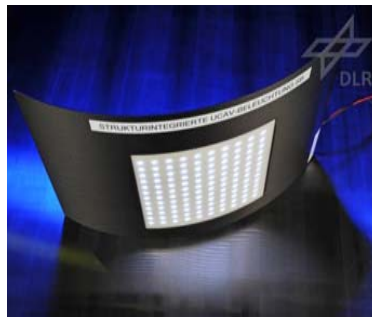
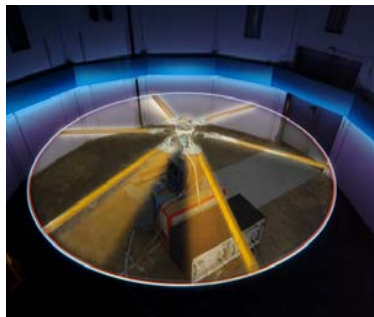
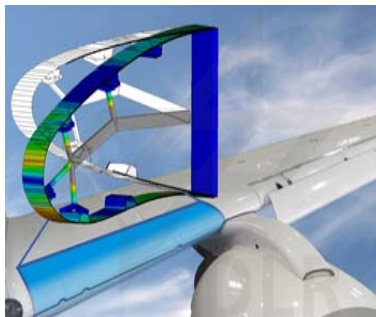


Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann

Zusammenfassung

- Faserverbundtechnologie bietet die Möglichkeit strukturkonformer Funktionsintegration
- Funktionsintegration erzeugt einen Mehrwert für Leichtbaustrukturen
- Über die durchgängige Prozesskette von Multifunktionsstoffen bis zur Verbundprozesstechnologie wird die Funktionsintegration in industrielle Anwendungen erprobt und abgesichert



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik 42
DGLR-Vortrag „Funktionsintegration im Leichtbau“, 31.01.11, Wiedemann